



УДК 551.481.:543

DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-191-202

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА НА ОБЬ-ТОМСКОМ МЕЖДУРЕЧЬЕ

### HYDROCHEMICAL REGIME OF OLIGOTROPHIC WETLAND ON OB-TOMSK INTERFLUVE

Л.И. Инишева<sup>1</sup>, Л.В. Шайдак<sup>2</sup>, Е.В. Порохина<sup>1</sup>, В.А. Дырин<sup>1</sup>  
L.I. Inisheva<sup>1</sup>, L.V. Szajdak<sup>2</sup>, E.V. Porokhin<sup>1</sup>, V.A. Dryin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный педагогический университет, Россия, 634061, г. Томск,  
ул. Киевская, 60

<sup>2</sup>Институт сельскохозяйственной и лесной среды Академии наук Польши, Польша,  
60-809, г. Познань, Буковская 19

<sup>1</sup>Tomsk State Pedagogical University, Russia, 60 Kievskaya St, Tomsk, 634061, Russia

<sup>2</sup>Institute for Agricultural and Forest Environment of Polish Academy of Sciences,  
Bukowska 19, 60-809 Poznań, Poland

E-mail: [inisheva@mail.ru](mailto:inisheva@mail.ru)

#### Аннотация

Сложный химический состав торфов в торфяной залежи болотных экосистем, их физико-коллоидная структура формируют собственный гидрохимический состав болотных вод. В статье рассматриваются условия формирования химического состава болотных вод на примере олиготрофного болота Томской области. На протяжении 2-х лет, характеризующихся разными погодными условиями, анализируются гидрологические, окислительно-восстановительные условия торфяной залежи и макрокомпонентный состав болотных вод. Проводится сравнительный анализ болотных и речных вод. Делается вывод, что генетические особенности олиготрофного болота создают фоновый химический состав болотных вод, который проявляется в кислой pH, высоком содержании органических кислот, их комплексонов и восстановленных форм катионов. Химический состав реки, протекающей по болоту или вблизи болота, образуется за счет талых, дождевых и частично болотных вод.

#### Abstract

The complex chemical composition of peats in the peat deposit of wetland ecosystems, their physical and chemical structure form their own hydrochemical composition of swamp waters. The article deals with the conditions of formation of the chemical composition of swamp waters on the example of oligotrophic wetland of Tomsk region. The wetland Gazoprovodnoe is located on the Ob-Tomsk interfluve, in the southeastern part of the Tomsk region, has an age of about 3700 years. The total area of the swamp is about 123 hectares with a maximum depth of 2.5–2.7 m. The swamp belongs to the category of small-scale closed areas with atmospheric type of water and mineral nutrition. In 2014 on this wetland was organized a peatland experiments for investigation of regimes of the oligotrophic bogs. During 2 years, characterized by different weather conditions, the hydrological, oxidation-reduction conditions of peat deposit and macro-component composition of swamp waters are analyzed. The comparative analysis of swamp and river waters is carried out. It is concluded that genetic features of oligotrophic swamps create chemical composition of swamp waters: an acidic pH, high content of organic acids, chelators and reduced forms of cations. The chemical composition of the river flowing through the wetland or near the wetland is formed by melt, rain and partly swamp waters.

**Ключевые слова:** болото, болотная вода, гидрохимический режим, торфяная залежь, биохимические процессы, газовый режим

**Keywords:** wetland, swamp water, hydrochemical regime, peat deposit, biochemical processes, gas regime.



## Введение

Болотные системы, будучи неременным атрибутом ландшафтной оболочки, выполняют ряд функций: гидрологическую, геоморфологическую, климатическую и др. Первая из них, с нашей точки зрения, является главной, так как само существование болот определяется особенностями водообмена в ландшафте.

Вместе с тем показатели функционирования болотных экосистем (БЭС), их динамика и тенденция развития определяются процессами образования, трансформации и миграции вещества. На них основываются механизмы устойчивости БЭС [Инишева, Земцов, 1995]. Водообмен в болотах является связующим звеном геологического, биологического круговоротов, определяющих пути миграции веществ и энергии. Сложный химический состав самих торфов в торфяной залежи БЭС, их физико-коллоидная структура формируют собственный гидрохимический состав болотных вод. В итоге образуются пресные воды, обогащенные углекислотой, метаном, растворенными органическими веществами, железом, марганцем и другими болотными компонентами. Так образуется особый вид болотных вод, состав и процессы взаимодействия в которых изучены недостаточно. Целью данной работы явилось изучение гидрохимического состава болотных вод в сравнении с составом поверхностного водоисточника – реки.

## Объекты и методы исследования

Исследуемое болото Газопроводное расположено на Обь-Томском междуречье, в юго-восточной части Томской области, с возрастом около 3700 лет и состоит из двух участков, разделенных неширокой песчаной гривой. Общая площадь болота в нулевых границах торфяной залежи около 123 га при ее максимальной глубине 2.5–2.7 м. Болото относится к категории мелкоконтурных замкнутых (бессточных) участков с преимущественно атмосферным типом водно-минерального питания. Это репрезентативный для междуречья Оби и Томи вариант рослого рьяма (сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз с высокой сосной). Растительность представлена осоково-сфагновыми ассоциациями в микро-понижениях и мшисто-мелкокустарничковыми – по бугоркам (черника, брусника). Перепад высот между этими ассоциациями не превышает 50 – 70 см.

На болоте в 2014 году был организован опорный пункт изучения режимов функционирования олиготрофного болота. Были изучены общетехнические и химические свойства торфов. Ботанический состав был определен по ГОСТ 28245-89 [ГОСТ 28245-89, 1990] в 2-х организациях – СибИИСХ и торфа, а также в НИИ экологии, сельского и лесного хозяйства г. Познани (табл. 1), групповой состав органического вещества торфов – по методу Инсторфа [Базин и др., 1992].

В летний период проводились наблюдения за отдельными режимами: гидрологическим, окислительно-восстановительным, газовым, гидрохимическим. Окислительно-восстановительный потенциал определялся платинированными электродами [Инишева, 1978] до глубины 2–3 м стационарно заложенными в торфяную залежь датчиками. Периодичность измерений 1 раз в 10 дней. Из оборудованных на пунктах колодцев проводился забор болотной воды по методике [Инишева, Голубина, 2010]. Болотная вода на анализ отбиралась в колодцах после откачки и наполнения свежей порцией. Макрокомпоненты в болотных и речных водах определяли по общепринятым методикам, гуминовые и фульвокислоты – по [Базин и др., 1992]. Газовый режим изучался «реперс» методом [Steinmann, Shotyk, 1996, Айлрих, 2000]. Для измерения эмиссии CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> использовался камерный метод. Газовый состав анализировали на хроматографе «Кристалл-5000.1» [ГОСТ 23781-87, 1988]. Все лабораторные исследования проводились в Испытательной лаборатории ТППУ (№ РОСС RU.0001.516054).



### Результаты и их обсуждение

Ботанический состав, указанный в работах разных исследователей, оказался разным даже на типовом уровне. Так, с поверхности торфяная залежь сложена верховым торфом до глубины 200 см, далее идет 25 см переходного торфа, который сменяется на низинный осоковый (СибНИИСХ и торфа). Польские исследователи определили, что торф с поверхности до глубины 200 см переходный и далее – низинный осоковый торф. Различия определяются из-за обнаружения осоки в верхней толще торфов, что и определило отнесение их к переходному типу. Далее мы принимаем вариант торфяной залежи верхового типа.

Таблица 1  
Table 1

Общетехнические свойства торфов болота Газопроводное  
General technical properties of peats of wetland Gazoprovodnoye

Глубина, см	Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа, г. Томск		НИИ экологии, сельского и лесного хозяйства г. Познань	
	ботанический состав, %	вид торфа	ботанический состав, %	вид торфа
0–25	<i>Sphagnum angustifolium</i> 30, <i>Sphagnum balticum</i> 20, <i>Sphagnum majus</i> 15, <i>Sphagnum magellanicum</i> 5, Шейхцерия 5, Сосна 15, Вересковые кустарнички 10	комплексный верховой	<i>Sphagnum</i> 35–40, <i>Carex</i> 45–50, не определено 10–15	сфагново-осоковый переходный
50–75	<i>Sphagnum magellanicum</i> 25, <i>Sphagnum balticum</i> 20, <i>Sphagnum angustifolium</i> 15, Сосна, 20, Шейхцерия 15, Вересковые кустарнички 5	сосново-сфагновый верховой	<i>Sphagnum</i> 50–55, <i>Carex</i> 20–25, не определено 15–20	сфагново-осоковый переходный
100–125	<i>Sphagnum magellanicum</i> 15, Вересковые кустарнички 15, Сосна 40, Пушица 30,	сосново-пушицевый верховой	<i>Sphagnum</i> 35–40, <i>Carex</i> 40–45, древесина и кора 5–10, не определено 10–15	сфагново-осоковый переходный
150–175	<i>Sphagnum balticum</i> 35, <i>Sphagnum magellanicum</i> 15, <i>Sphagnum angustifolium</i> 5, Осока 5, Пушица 25, Сосна, 15	комплексный верховой	<i>Sphagnum</i> 65–70, <i>Carex</i> 20–25, древесина и кора 5–10, не определено 2–5,	сфагново-осоковый переходный
200–225	<i>Sphagnum balticum</i> 10, Гипновые мхи 40, Пушица 20, Осока 20, Сосна 10	травяно-гипновый переходный	<i>Sphagnum</i> 10–15, <i>Bryales</i> 10–15, <i>Carex</i> 50–55, древесина и кора 5–10, не определено 10–15	сфагново-осоковый переходный
250–275	Осока 70, Гипновые мхи 30	осоково-гипновый низинный	<i>Sphagnum</i> 10–15, <i>Carex</i> 60–65, Пушица 15–20, не определено 5–10	осоковый низинный
300–325	Осока 95, Гипновые мхи 5	осоковый низинный	<i>Sphagnum</i> 10–15, <i>Carex</i> 60–65, Пушица 15–20, не определено	осоковый низинный

Как выше уже отмечалось, в процессе образования болотных вод осадки, попадающие в торфяную залежь, проходят стадию преобразования и связано это с



составом органического вещества торфов. Рассмотрим групповой состав органического вещества торфов (табл. 2). Так, содержание битумов по торфяной залежи изменяется от 5 до 10 % с наибольшим содержанием в слое 50–150 см. Содержание водорастворимых и легкогидролизуемых веществ изменяется в пределах 25.3 % – 46.5 %, гуминовых кислот – 17.3 % – 41.3 %, фульвокислот 12.0 % – 24.7 %, лигнина 7.3 % – 22.1 %, целлюлозы 0.2 % – 6.3 %. Сравнивая, например, данные показатели с торфами Европейской части России, можно отметить, что они примерно одинаковы. Исключение составляют содержания ВРВ и ЛГВ в сосново-сфагновом и в сосново-пушицевом торфах. По содержанию ГК выделяются – сосново-сфагновый, сосново-пушицевый и травяно-гипновый торфа, по ФК – комплексный и травяно-гипновый торфа, по целлюлозе – сосново-пушицевый и травяно-гипновый торфа. Следует отметить повышенное содержание лигнина в торфах, отобранных с глубины 100–275 см, а также высокое содержание гуминовых и фульвовых кислот, которым принадлежит важная роль в формировании состава болотных вод.

Таблица 2

Table 2

Групповой состав органического вещества торфов, %  
Group composition of organic matter of peat, %

Глубина, см	Вид торфа	Степень разложения, %	Содержание битумов %	Водорастворимые и легко гидролизуемые в-ва, %	Гуминовые кислоты, %	Фульвокислоты, %	Лигнин, %	Целлюлоза, %
0–25	Комплексный верховой	25	6.6	46.5	17.3	14.8	10.9	4.2
25–50	Комплексный верховой	25	7.7	39.4	23.3	17.3	11.5	2.2
50–75	Сосново-сфагновый верховой	27	9.6	34.6	21.5	23.2	7.3	4.9
75–100	Сосново-сфагновый верховой	27	10.0	33.6	22.1	15.8	11.0	6.2
100–125	Сосново-пушицевый верховой	51	9.5	34.7	23.8	16.7	15.1	0.2
125–150	Сосново-пушицевый верховой	51	9.2	30.8	24.9	15.3	13.1	4.8
150–175	Комплексный верховой	32	6.9	33.2	27.8	24.7	8.0	1.0
175–200	Комплексный верховой	32	6.9	26.7	28.4	12.5	22.1	3.3
200–225	Травяно-гипновый переходный	32	6.8	26.4	35.6	12.0	15.2	3.1
225–250	Травяно-гипновый переходный	32	6.9	31.3	27.4	12.1	16.7	6.3
250–275	Осоково-гипновый низинный	27	5.0	27.6	34.2	13.3	13.9	5.2
275–300	Осоково-гипновый низинный	27	5.8	31.9	41.3	11.5	9.8	1.3
300–325	Осоковый низинный	29	5.5	25.3	36.1	22.0	9.8	1.4

Гидрохимический состав болотных вод определяется сложным комплексом химических реакций, включающих процессы синтеза и ресинтеза органических веществ.



Активность микрофлоры в торфяной залежи также направлена на преобразование органического вещества в торфяной залежи. Роль микроорганизмов в разрушении сложных органических соединений торфа обусловлена особенностями их метаболизма. В микробную клетку могут поступать только относительно простые органические соединения. Именно поэтому микробы разлагают высокомолекулярные соединения торфов вне клетки до уровня простых сахаров, аминокислот, жирных кислот и т. д. Из гумусовых кислот наиболее растворимы фульвокислоты (ФК), что связано с более высоким вкладом в их структуру карбоксильных групп и фенольных оксигрупп, а также меньшей молекулярной массой мономеров и ассоциатов ФК. Поэтому содержание ФК в болотных водах превышает содержание ГК. Высокая активность гумусовых кислот по отношению к катионам определяет вынос веществ в болотные воды.

Рассмотрим формирование состава болотных вод и их динамику. Исследования проводились на протяжении 2-х лет, погодные условия которых приведены в табл. 3.

**Погодные условия.** Особенности вегетационного периода 2014 г. являются прохладные май и сентябрь, когда среднемесячная температура воздуха была ниже нормы в 1.1 – 1.2 раза. В то же время в летние месяцы среднемесячная температура воздуха составила в июне, июле и августе соответственно +16.1 +19.4 и +16.9 °С, что выше нормы на 1–2 °С (табл. 3).

Таблица 3

Table 3

Погодные условия, ГМС Томск, 2014–2015 годы  
Weather conditions, GMS Tomsk, 2014–2015 years

Метеорологическая характеристика	Месяцы					Май-сентябрь
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Температура воздуха, °С	8.2/11.9	15.9/18.4	19.4/18.9	16.9/15.9	7.2/8.0	13.5/14.6
Среднегодовое значение температуры воздуха, °С	8.8	15.4	18.3	15.1	9.3	13.4
Осадки, мм	110.1/48.2	35.7/26.4	85.7/95.1	62.9/94.0	28.2/74.5	322.6/338.2
Среднегодовое значение осадков, мм	51.7	66.7	76.9	75.5	48.7	319.5
ГТК по Селянинову	0.0/1.5	0.2/0.5	1.4/1.6	1.2/1.9	0.0/1.3	0.5/1.3
Среднегодовое значение ГТК по Селянинову	0.8	1.73	1.85	1.59	1.47	1.5

ГТК – гидротермический коэффициент, 8.2/11.9 – в числителе показания 2014 г. в знаменателе – показатели 2015 г.

По количеству выпавших осадков выделяются май (осадков выпало в этот период в 2 раза больше нормы) и июль (когда количество осадков было близким к среднегодовым значениям). В июне, августе и сентябре количество осадков выпало в 1.2 – 2.7 раз ниже нормы. В целом вегетационный период можно охарактеризовать как теплый и засушливый (ГТК 0.50). В 2015 году ГТК за весь теплый период был близок к среднегодовому показателю ГТК и только в июне отмечаются засушливые условия.

Динамика уровней болотных вод (УБВ) на олиготрофном болоте в 2014 году характеризовалась равномерным их снижением в течение вегетационного периода и в конце периода вегетации УБВ снизились до 50 см от поверхности. Динамика уровней болотных вод на болоте в 2015 году характеризовалась равномерным их снижением на 30 см до начала июля. Затем последовало их повышение на 25 см вследствие выпавших больших осадков, но со второй половины августа вновь опустились к началу сентября до 35 см от поверхности болота. Таким образом, более засушливые условия 2014 года оказали влияние на большее снижение УБВ в 2014 г.



В этих погодных условиях в мае 2014 г. (рассмотрим окислительно-восстановительные условия на примере этого года, как контрастного по погодным условиям) в метровом слое торфяной залежи с глубины 40 см определились восстановительные условия, способствующие образованию восстановленных соединений железа, марганца и других компонентов гидрохимического состава (рис. 1). В результате в торфяной залежи формируются различные условия, характеризующие многообразие окислительно-восстановительного, кислотно-щелочного режимов, что, несомненно, накладывает свой отпечаток на особенности дифференциации и миграции химических элементов в торфяных залежах и их вынос с болотными водами. Известно, что изменения химических элементов в торфяной залежи приурочены к границам изменения режима минерального питания и, в том числе, условий водной миграции. Иногда повышенное содержание элементов, например, железа на границах генетических горизонтов разных по ботаническому составу, является результатом наличия геохимических барьеров при резкой инверсии условий торфонакопления [Глазовская, 1988].

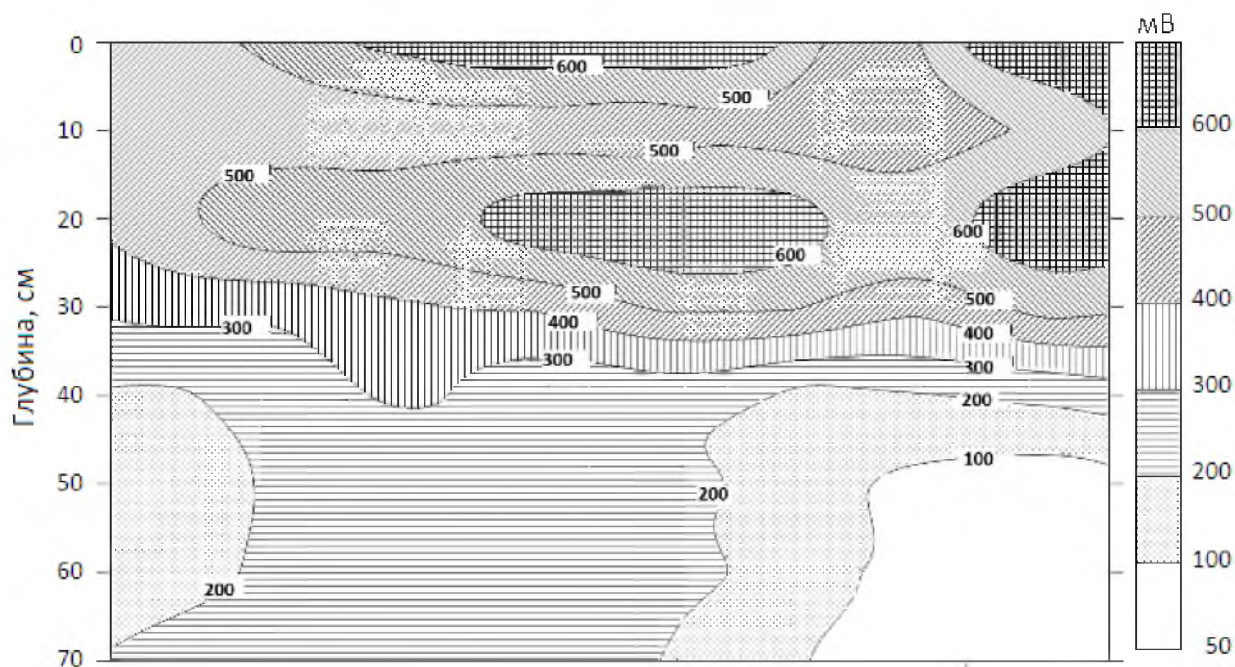


Рис. 1. Динамика ОВП за вегетационный период, 2014 г., мВ

Fig. 1. Dynamics of oxidation-reduction potential during the warm season, 2014, mV

К осени восстановительные условия ниже 60 см усиливаются, в то время как в верхней части торфяного профиля отмечаются резко окислительные условия вследствие снижения УБВ. Во влажный теплый период 2015 года окислительные условия поддерживались только в самом поверхностном слое 0–15 см. Таким образом, в торфяной залежи очевидно преобладание восстановительных условий, и это должно оказывать влияние на микробиологические процессы, результатом активности которых служит газовый режим болота. Поэтому изучение динамики газового режима торфяных залежей болот на протяжении длительного времени в разных климатических условиях с одновременным контролем по биохимическим процессам всегда актуально, так как позволяет прогнозировать развитие болотообразовательного процесса и гидрохимический состав болотных вод [Glagolev et al., 2001].

Рассматриваемый период наблюдений характеризуется увеличением концентрации диоксида углерода и метана с глубиной. Концентрация метана в среднем за вегетационный период 2014 г. составила 0.10 ммоль/л, с пределами 0.01 – 0.28 ммоль/л (рис. 2). С глубиной концентрация метана увеличивалась примерно в 1.5–2 раза. Максимальные значения метана в торфяной залежи были зафиксированы в мае, в летний



период интенсивность образования  $\text{CH}_4$  снизилась примерно в 2 раза, к концу лета она вновь возросла в 1.5 раза и поддерживалась на этом уровне весь август и сентябрь.

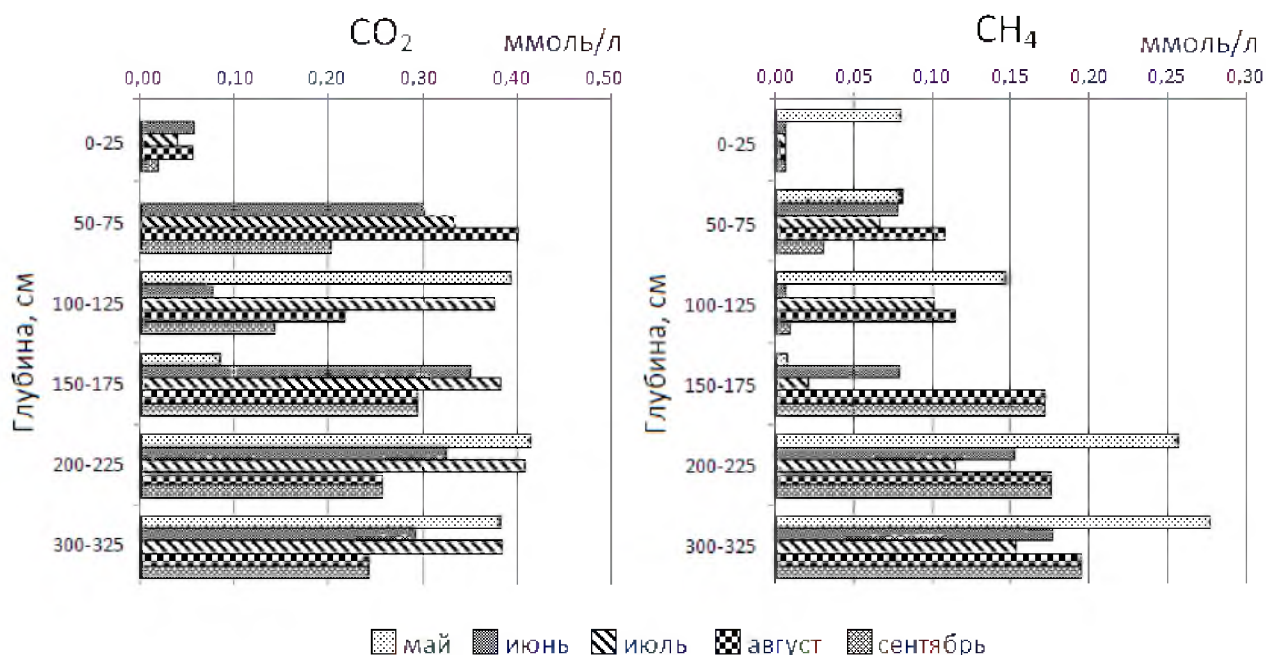


Рис. 2. Изменение концентрации диоксида углерода и метана в торфяной залежи, 2014 г.  
Fig. 2. Changes in the concentration of carbon dioxide and methane in the peat deposit, 2014

К увеличению концентрации метана в эти месяцы привели незначительные повышения УБВ в начале августа и сентября. В результате этого ухудшились условия аэрации, следовательно, произошло повышение активности метаногенных микроорганизмов и снижение активности метанотрофных.

Концентрация диоксида углерода в среднем за вегетационный период 2014 г. составила 0.24 ммоль/л, с пределами от 0.00 до 0.41 ммоль/л. Минимальные значения отмечались в верхнем слое 0–25 см (0.00–0.06 ммоль/л), уже на глубине 50–75 см интенсивность образования  $\text{CO}_2$  увеличивается в среднем за период в 3 раза (0.20–0.40 ммоль/л) и поддерживается на этом уровне в более глубоких горизонтах. Анализ динамики показал, что в слое 0–175 см концентрация диоксида углерода увеличивается от мая к июлю, а в августе отмечается ее снижение. В более глубоких слоях в мае и июле отмечается одинаковая интенсивность образования диоксида углерода, небольшое понижение было зафиксировано в июне, в августе и сентябре.

Вегетационный период 2015 года характеризуется увеличением концентрации диоксида углерода и метана с глубиной (см. табл. 3), исключение составил июнь, когда изменения концентрации  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  по глубине имели пульсирующий характер, что было связано с погодными условиями, которые в этот период оказались засушливыми.

Концентрация метана в ТЗ колебалась в пределах 0.00–0.19 ммоль/л, увеличиваясь с глубиной примерно в 1.5–2 раза. Максимальные значения метана были зафиксированы в сентябре (0.0–0.19 ммоль/л), в августе и июле интенсивность образования  $\text{CH}_4$  была ниже примерно в 1.5 раза, в июне – в 2 раза. Увеличение концентрации метана в сентябре объясняется обильными осадками, начавшимися еще в августе, в результате которых произошло повышение УБВ, следовательно, ухудшились условия аэрации. Как известно, в анаэробных условиях снижается активность метаноокисляющих и увеличивается активность метанобразующих бактерий, что приводит к повышению концентрации  $\text{CH}_4$  в торфяной залежи.

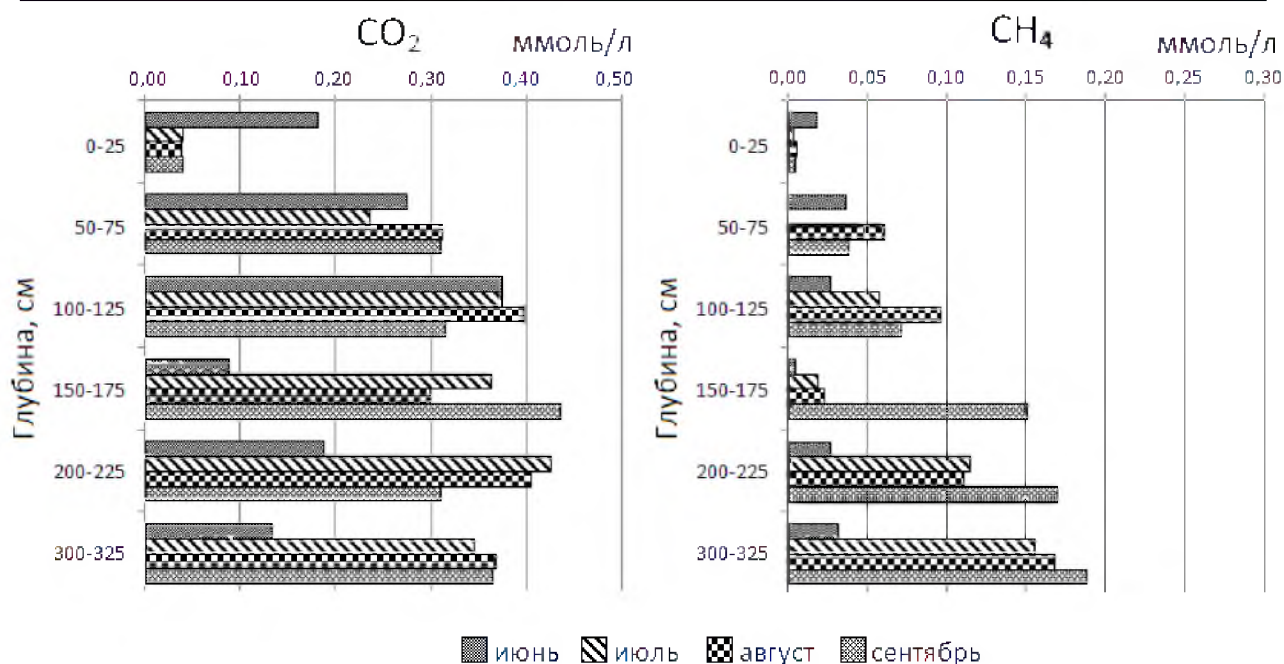


Рис. 3. Изменение концентрации диоксида углерода и метана в торфяной залежи, 2015 г.

Fig. 3. Changes in the concentration of carbon dioxide and methane in the peat deposit, 2015

Концентрация диоксида углерода в 2015 г. изменялась от 0.04 до 0.42 ммоль/л. Минимальные значения отмечались в верхнем слое 0–25 см (0.04–0.18 ммоль/л), за исключением июня. Уже на глубине 50–75 см интенсивность образования CO<sub>2</sub> увеличивалась в среднем за период в 2.5–3 раза (0.24–0.31 ммоль/л) и поддерживалась на этом уровне в более глубоких слоях. Таким образом, характеристика газового режима свидетельствует о высокой активности процессов трансформации органического вещества торфов на протяжении теплых периодов, что также отмечается и другими авторами [Назаров и др., 1977, Смагин, 2007, Согу, R. M. et. al., 2013].

Рассмотрим химический состав болотных и речных вод в пределах опорного пункта наблюдений. За вегетационный период 2014 года содержание сульфат-иона в болотных водах характеризуется низкими показателями и равномерной динамикой (табл. 4). Отмечаются высокие значения нитратов, в особенности в весенний и осенний периоды. В осенний период наблюдается увеличение концентрации в болотных водах двухвалентного железа. В водах реки также происходило увеличение к осени содержания нитрат-ионов и их содержание также характеризуется высокими значениями. Содержание же аммоний-иона много ниже в речных водах по сравнению с болотными водами и сезонная закономерность не просматривается. Показатели химического потребления кислорода, характеризующего обеспеченность вод органическим веществом, больше в болотных водах, чем в речных водах в 2–5 раз. За весь вегетационный период ХПК изменялись в пределах 20.1–40.4 мг/л в речных и 74.6–102.8 мг/л в болотных водах. Это невысокие показатели, свидетельствующие о небольших количествах органического вещества в этих водах. В болотных водах практически в 2 и более раза больше ГК и ФК по сравнению с речными водами. И их содержание закономерно увеличивается к осени. В количественном отношении фульвокислоты преобладают, что типично для верховых болот.

Следует отметить, что болотные воды образуют совершенно особый органогенный тип вод, свойства и специфика формирования которых до сих пор обстоятельно не изучены [Шварцев и др., 2002]. Между тем эти сведения важны при оценке геохимических особенностей поверхностных вод, гидрохимический режим которых формируется за счет стока болотных вод.





Таблица 4  
Table 4

Химический состав болотной и речной воды мг/л, 2014 г.  
Chemical composition of swamp and river waters, mg/l, 2014

Компоненты	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
$\text{Ca}^{2+}$	4.3/10.2	5.1/11.4	3.9/10.6	6.2/9.8	7.4/13.1
$\text{Mg}^{2+}$	1.1/1.2	1.6/0.8	1.1/1.6	1.1/2.4	1.4/1.8
$\text{NH}_4^+$	14.6/1.6	22.2/0.9	25.1/0.8	36.2/1.7	38.1/1.4
$\text{Na}^+$	2.1/0.6	0.8/0.2	1.6/0.4	2.9/0.5	3.4/0.4
$\text{K}^+$	1/0.4	1.2/0.5	1.8/0.4	3.4/0.4	6.5/0.3
$\text{Fe}_{\text{общ}}$	1.2/1	1.6/1	–/–	2.8/2.2	3.9/2.7
$\text{Fe}^{2+}$	1.2/0.7	1.7/0.9	–/–	2.4/2.1	3.7/2.7
$\text{Fe}^{3+}$	0/0.3	0/0.1	–/–	0.4/0.1	0.3/0
$\text{HCO}_3^-$	20.4/18.6	16.3/17.1	14.5/13.8	33.7/24.6	33.9/35.9
$\text{NO}_3^-$	94.2/10.8	33.1/16.3	27.1/9.8	46.2/5.4	101.8/22.6
$\text{SO}_4^{2-}$	0.3/0.1	0.2/0.03	0.1/0.1	0.1/0.1	0.2/0
pH	3.9/6.6	3.7/6.4	–/–	3.8/6.2	4/6.3
ГК	8.7/5.6	9.4/8.1	–/–	25.7/9.4	38.5/13.8
ФК	63.1/19.8	63.5/29.5	–/–	89.5/43.9	118.8/67.2
ХПК	102.8/40.4	86.3/36.8	100.9/20.1	74.6/–	86.3/22.7

«–» – показатели не определялись, 4.3/10.2 – числитель – болотная вода, знаменатель – речная вода, ХПК – химическое потребление кислорода

Рассмотрим химический состав болотных и речных вод за вегетационный период 2015 года (табл. 5). Важно отметить, что в болотных водах намного больше железа общего и особенно двухвалентного, аммонийного и нитратного азота по сравнению с речной водой. Динамика этих элементов показывает увеличение более чем в 2 раза общего железа в болотных водах к осени. Высокое содержание железа отмечается за вегетационный период в водах реки. В июне и сентябре концентрация железа была достаточно высокой – выше 3.5 мг/л. Концентрация нитратного азота выше в болотных водах. Такая же закономерность характерна и для динамики аммонийного азота.

В болотных водах практически в 2 и более раза больше ГК и ФК, по сравнению с речными водами. И их содержание закономерно увеличивается к осени. В количественном отношении ФК преобладают. Исследователями в разное время было показано, что в инактивации катионов (железа и других) преимущественно участвуют тонкодисперсные частицы, полуторные оксиды, карбонаты и гуминовые вещества. Последние участвуют в поглощении элементов особенно активно. Так Х. Кендорфом и М. Шнитцером (1980, цитир. по Иванову В.В. [Иванов, 1994]) построены ряды активности захвата металлов гуминовыми кислотами в зависимости от pH среды:

а) pH = 2.4 –  $\text{Hg} > \text{Fe} > \text{Pb} > \text{Cu} = \text{Al} > \text{Ni} > \text{Cr} = \text{Zn} = \text{Cd} = \text{Co} = \text{Mn}$ ;

б) pH = 3.7 –  $\text{Fe} > \text{Al} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Cd} = \text{Zn} = \text{Ni} > \text{Co} = \text{Mn}$ .

Именно такие значения pH характерны для торфяных залежей олиготрофных болот, что и наблюдается в случае болотных вод болота Газопроводное.

Таблица 5  
Table 5Химический состав болотной воды и речной воды, мг/л, 2015 г.  
Chemical composition of swamp and river waters, mg/l, 2015

Компоненты	14 Май	15 Июнь	14 Июль	13 Август	15 Сентябрь
$\text{Ca}^{2+}$	< 1.0/10.4	< 1.00/21.8	< 1.0/41.1	< 1.00/20.6	< 1.0/27.2
$\text{Mg}^{2+}$	< 1.0/2.2	< 1.00/4.2	< 1.0/7.0	< 1.00/2.49	< 1.0/7.3
$\text{NH}_4^+$	7.0/1.7	6.5/1.7	7.1/0.5	8.0/1.2	8.4/0.6
$\text{Fe}_{\text{общ.}}$	1.4/1.3	1.0/3.4	0.1/2.4	2.74/2.8	2.7/3.1
$\text{Fe}^{2+}$	1.4/1.3	1.0/2.0	0.1/0.6	2.74/1.74	2.1/0.5
$\text{Fe}^{3+}$	< 0.1/< 0.1	< 0.1/1.4	< 0.1/1.8	< 0.05/1.06	0.6/2.6
$\text{HCO}_3^-$	< 10.0/13.3	< 10.0/35.2	< 10.0/87.6	< 10.0/33.2	< 10.0/33.2
$\text{NO}_3^-$	3.7/1.4	4.0/2.3	4.3/0.9	0.75/1.21	0.9/0.8
$\text{SO}_4^{2-}$	< 10.0/< 10.0	11.0/< 10	< 10.0/< 10.0	< 10.0/< 10.0	< 10.0/< 10.0
pH	3.5/6.3	3.5/6.9	3.5/7.7	3.9/7.0	3.5/8.0
ГК	7.9/5.8	8.3/9.6	7.5/2.7	30.7/14.3	21.0/6.5
ФК	179.7/69.9	176.4/72.6	179.7/26.9	198.9/75.4	232.6/64.0
ХПК	254.9/133.3	254.1/151.0	249.0/58.8	306.6/211.4	238.3/41.4

<1.0/10.4: числитель – болотная вода, знаменатель – речная вода, ХПК – химическое потребление кислорода.

Таким образом, анализ факторов, определяющих формирование химического состава болотных вод, показывает их взаимозависимость в разной степени. Так, погодные условия лет исследований и соответственно УБВ и создающиеся окислительно-восстановительные условия в торфяной залежи болота определяют динамику биохимических процессов и как результирующий параметр – газовый режим. Вместе с тем генетические особенности исследуемого болота – его олиготрофный тип – создают фоновый химический состав болотных вод, который проявляется в кислой pH, высоком содержании органических кислот и восстановленных форм катионов.

### Выводы

Химический состав болотных вод образуется за счет взаимодействия осадков с органо-минеральной и биохимической системами торфяной залежи. Представительное для Обь-Томского междуречья олиготрофное болото, подстилаемое песчаным грунтом, характеризуется повышенным содержанием гуминовых кислот по сравнению с аналогичными болотами Томской области. Важная роль в формировании гидрохимического состава этих болотных вод принадлежит водорастворимым фульвокислотам и их комплексонам.

Химический состав реки, протекающей по болоту или вблизи болота, образуется за счет талых, дождевых и частично болотных вод и таким образом представляет собой осредненные значения компонентов этих вод.

Осадки при поступлении на болото взаимодействуют на основе физико-химических и биохимических процессов с химическим составом торфов в торфяной залежи. В итоге образуется особый вид болотных вод. Воды в этом случае обладают интенсивной желто-бурой окраской (цветность более 4°), а величина окисляемости



обычно имеет значение от нескольких десятков до сотен мг  $O_2$ /л, в среднем составляя 200-300 мг  $O_2$ /л. Попадая в речные воды, болотные воды с высоким содержанием соединений гумусовой природы улучшают состояние биологических организмов в реках и блокируют пути миграции тяжелых металлов и других экотоксикантов в трофических цепочках.

### Благодарности

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (госзадание ТГПУ № 5.7004.2017/БЧ) и Польского министерства образования (№ NN305 3204 36).*

### Список литературы

#### References

1. Айлрих Б. 2000. Происхождение и циркуляция  $CH_4$  и  $CO_2$  в торфянике. В кн.: Сокращение эмиссии метана. Новосибирск, 233.  
Alrich B. 2000. The origin and circulation of  $CH_4$  and  $CO_2$  in the peatland. In: Sokrashenie emissii metana [Reducing methane emissions]. Novosibirsk, 233. (in Russian)
2. Базин Е.Т., Копенкин В.Д., Косов В.И., Корчунов С.С., Петрович В.М. 1992. Технический анализ торфа / Под общ. ред. Базина Е.Т. М., Недра, 431.  
Bazin E.T., Kopenkin V.D., Kosov V.I., Korchunov S.S., Petrovich V.M. 1992. Tekhnicheskii analiz torfa [Technical analysis of peat] / Ed. Bazin E.T. Moscow, Nedra, 431. (in Russian)
3. Глазовская М.А. 1988. Геохимия природных ландшафтов СССР. М., Высшая школа, 329.  
Glazovskaya M.A. 1988. Geokhimiya prirodnikh landshaftov SSSR [Geochemistry of natural landscapes of the USSR]. Moscow, Vysshaya shkola, 329. (in Russian)
4. ГОСТ 23781-87 Газы горючие природные. Хроматографический метод определения компонентного состава. Дата введения 01.07.1987.  
GOST 23781-87 Gases combustible natural. Chromatographic method for determining the component composition. Date of introduction 01.07.1987. (in Russian)
5. ГОСТ 28245-89 Методы определения ботанического состава и степени разложения. Дата введения 01.07.1990.  
GOST 28245-89 Metody opredeleniya botanicheskogo sostava i stepeni razlozheniya. Date of introduction 01.07.1990. (in Russian)
6. Иванов В.В. 1994. Экологическая геохимия элементов. Кн. 2. М., Наука, 303.  
Ivanov V.V. 1994. Ekologicheskaya geokhimiya elementov. Kn. 2 [Ecological geochemistry of elements]. Moscow, Nauka, 303. (in Russian)
7. Инишева Л.И. 1978. К методике определения ОВП. Почвоведение, 11: 158.  
Inisheva L.I. 1978. To the procedure for determining the oxidation-reduction potential. Pochvovedenie [Soviet Soil Science], 11: 158. (in Russian)
8. Инишева Л.И., Голубина О.А. 2010. Болотообразовательный процесс. Проведение полевых исследований на болотных стационарах. Томск, Изд-во ТГПУ, 67.  
Inisheva L.I., Golubina O.A. 2010. Bolotoobrazovatel'nyi protsess. Provedenie polevykh issledovaniy na bolotnykh statsionarakh [The swamp formation process. Conducting the field research on wetland stationary]. Tomsk, TSPU Publishing House, 67. (in Russian)
9. Инишева Л.И., Земцов В.А. 1995. Болотообразование в Западной Сибири и концепция рационального использования торфяных ресурсов. География и природные ресурсы, 2: 50–58.  
Inisheva L.I., Zemtsov V.A. 1995. Mire formation in Western Siberia and the concept of rational use of peat resources. Geografiya i prirodnye resursy [Geography and Natural Resources], 2: 50–58. (in Russian)
10. Назаров А.Д., Рассказов Н.М., Удодов П.А., Шварцев С.Л. 1977. Гидрогеологические условия формирования болот. В кн.: Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М., Наука: 93 – 104.  
Nazarov A.D., Rasskazov N.M., Udodov P.A., Shvartsev S.L. 1977. Hydrogeological conditions of bogs formation. In: Nauchnie predposilki osvoeniya bolot Zapadnoy Sibiri [Scientific background for the development of the marshes of Western Siberia]. Moscow, Nauka: 93–104. (in Russian)
11. Смагин А.В. 2007. Почвенно-гидрофизическое обеспечение исследований газовой функции западносибирских болот в связи с проблемой парникового эффекта. Экологический вестник Северного Кавказа, 3 (3): 46.



Smagin A.V. 2007. Soil-hydrophysical support of studies of gas function in West Siberian mires in connection with the problem of greenhouse effect. *The North Caucasus Ecological Herald*, 3 (3): 46. (in Russian)

12. Шварцев С.Л., Рассказов Н.М., Сидоренко Т.Н., Здвизжков М.А. 2002. Геохимия природных вод района Большого Васюганского болота. В кн.: Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. Томск, Изд-во ИОА СО РАН: 139–149.

Shvartsev S.L., Rasskazov N.M., Sidorenko T.N., Zdvizhkov M.A. 2002. Geochemistry of natural waters of the Greater Vasyugan mire. In: *Bol'shoe Vasyuganskoe boloto. Sovremennoe sostoyanie i protsessy razvitiya* [The Great Vasyugan mire. Current state and development processes.]. Tomsk, IAO SB RAS: 139–149. (in Russian)

13. Cory R.M., Clumps B.C., Dobkowski J.A., Kling G.W. 2013. Surface exposure to sunlight stimulates CO<sub>2</sub> release from permafrost soil carbon in the Arctic. *PNAS*, 110: 3429–3434/

14. Glagolev M.V., Smagin A.V., Lebedev V.S., Shnyrev N.A., Nozhevnikova A.N. 2001. Generation, mass-transfer and transformation of methane in peatland (on example of Bacharskoe wetland). In: *WSPCC, International Field Symposium West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: past and present*. Noyabrsk, Novosibirsk: 79–81.

15. Steinmann Ph., Shotyk W. 1996. Sampling anoxic pore water in peatlands using "peepers" for in situ-filtration. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, 354 (5–6): 709–713.

#### Ссылка для цитирования статьи

Инишева Л.И., Шайдак Л.В., Порохина Е.В., Дырин В.А. Гидрохимический режим олиготрофного болота на Обь-Томском междуречье // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, № 2. С. 191–202. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-191-202

Inisheva L.I., Szajdak L.V., Porokhin E.V., Dryin V.A. Hydrochemical regime of oligotrophic wetland on Ob-Tomsk interfluvium // *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series*. 2018. V. 42, № 2. P. 191–202. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-191-202